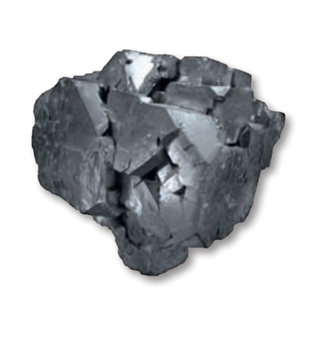
# À la découverte *des* minéraux *et des* pierres précieuses

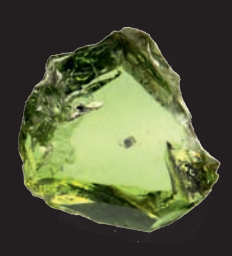
François Farges

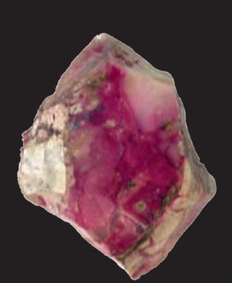







DUNOD









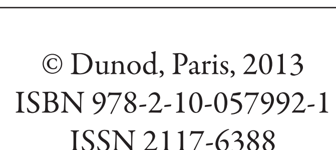
COLLECTION

**L'AMATEUR DE NATURE**

Sous la direction d'Alain Foucault,
en partenariat avec le Muséum national d'Histoire naturelle

*Adaptation maquette et mise en pages : Yves Tremblay*
*Maquette de couverture : Pierre-André Gualino*
*Illustrations intérieures : Delphine Zigoni*


ISBN 978-2-10-057992-1
ISSN 2117-6388





# Sommaire

# Mode d'emploi

## À la découverte des minéraux et des pierres précieuses




### L'Habit (ou l'aspect)

Les minéraux montrent des morphologies variables suivant la manière dont leurs cristaux se combinent. Leur habit peut varier de cristaux individuels bien formés et isolés à des constructions bien plus complexes.

Habits les plus fréquents

| Compact | Granulaire | Encroûté | Botryoïdal | Prismatique |
|---|---|---|---|---|
| Massif, terreux, informe | Grains de petite taille | Croûtes épaisses | Amas multiglobulaires | Cristaux allongés |
| Phosphorite | Olivine | Smithsonite | Goethite | Tourmaline |
| **Trapu** | **Lenticulaire** | **Lamellaire** | **Fibreux** | **Fibro-radié** |
| Cristaux trapus | Lentilles ovoïdes | En lamelles | Fibres, souples ou non | Zoné et rayonnant |
| Cassitérite | « Rose des sables » | Lépidolite | Chrysotile | Natrolite |
| **Aciculaire** | **Stalactiforme** | **Dendritique** | **Arborescent** | |
| Cristaux en aiguilles | Formant des stalactites | Formant des dendrites | Formant des branches | |
| Cuprite | Calcite | Birnessite | Cuivre natif | |

Des grilles de classification

Des explications scientifiques




vient ce changement fondamental de morphologie et comment opère-t-il ? Voici les réponses.

Du cube (faces rouges) au trapézoèdre (faces jaunes)

À partir d'un cube initial nanométrique, des facettes de troncature beaucoup plus stables croissent aux dépens des faces du cube pour donner finalement un octaèdre (les échelles n'ont pas été respectées, pour une meilleure représentation du phénomène).

**La croissance cristalline**

Ce sont les atomes de surface du cristal qui déterminent en général quelles facettes vont grandir en priorité. Ceci explique pourquoi des minéraux cristallisant dans le même système cristallin présentent des habitus différents : le sel (ou halite, cubique) présente systématiquement des cubes alors que le spinelle (également cubique) montre surtout des octaèdres.

Halite (Pologne) — Spinelle (Madagascar)

Par ailleurs, les conditions de formation influencent la stabilité relative des facettes : à plus haute température, l'octaèdre est souvent favorisé, alors que le cube est plutôt une forme de plus basse température (attention, cette règle n'est pas généralisable). Enfin, des impuretés peuvent aussi modifier la croissance cristalline.

### La formation des cristaux

La formation des cristaux est un processus lent et qui exige une grande stabilité. Certains cristaux peuvent néanmoins se former en quelques heures, comme le sel des marais salants. Mais, dans la

Ensuite, il faut pratiquer différents tests qui permettent de délimiter un groupe de minéraux candidats (voir la clé d'identification p. 67). Hélas, une détermination univoque et définitive requiert souvent bien plus que cela. Pour affiner une détermination, cela reste du domaine de l'amateur très expérimenté, voire du scientifique. Ces personnes se rencontrent au sein ou via des clubs de minéralogie, qui existent partout.






Quelques méthodes utilisées pour l'identification des minéraux : trace sur papier et technique de clivage (à gauche) et rayure de l'ongle et par l'ongle (à droite)

### Les clubs, les musées et les collections

S'inscrire à une association permet d'aller chercher des échantillons de manière plus sécurisée, de partager des informations cruciales, de trouver des expertises pour identifier des minéraux, pour avoir des contacts avec les professionnels de la minéralogie (miniers, scientifiques, conservateurs) qui préfèrent toujours travailler avec des groupes bien identifiés. Via une association, un accès privilégié à des collections patrimoniales peut être plus facilement envisagé, ce qui permet de tisser des liens durables avec des partenaires institutionnels (souvent très sollicités) alors que les musées restreignent actuellement leurs personnels, budgets, acquisitions et présentations muséales.

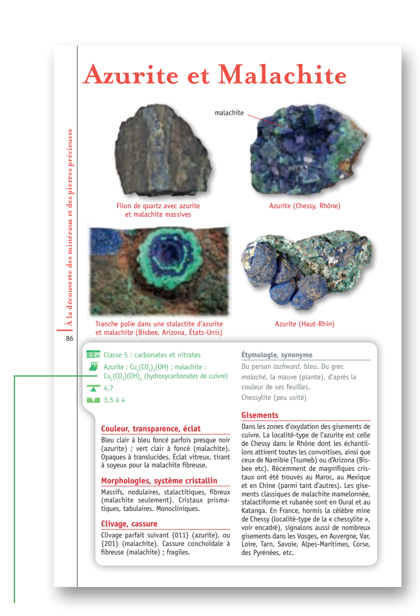




Des conseils pratiques pour réaliser une collection

# Reconnaître les minéraux et les pierres précieuses

Les espèces les plus courantes



## Azurite et Malachite

malachite

Filon de quartz avec azurite et malachite massives

Azurite (Chessy, Rhône)

Tranche polie dans une stalactite d'azurite et malachite (Bisbee, Arizona, États-Unis)

Azurite (Haut-Rhin)

Classe 5 : carbonates et nitrates

Azurite : $Cu_3(CO_3)_2(OH)$ ; malachite : $Cu_2(CO_3)(OH)_2$ (hydroxycarbonates de cuivre)

4,7

3,5 à 4

**Couleur, transparence, éclat**

Bleu clair à bleu foncé parfois presque noir (azurite) ; vert clair à foncé (malachite). Opaques à translucides. Éclat vitreux, tirant à soyeux pour la malachite fibreuse.

**Morphologies, système cristallin**

Massifs, nodulaires, stalactitiques, fibreux (malachite seulement). Cristaux prismatiques, tabulaires. Monocliniques.

**Clivage, cassure**

Clivage parfait suivant {011} (azurite), ou {201} (malachite). Cassure conchoïdale à fibreuse (malachite) ; fragiles.

**Étymologie, synonyme**

Du persan *lazhward*, bleu. Du grec *malaché*, la mauve (plante), d'après la couleur de ses feuilles.
Chessylite (peu usité)

**Gisements**

Dans les zones d'oxydation des gisements de cuivre. La localité-type de l'azurite est celle de Chessy dans le Rhône dont les échantillons attirent toutes les convoitises, ainsi que ceux de Namibie (Tsumeb) ou d'Arizona (Bisbee etc). Récemment de magnifiques cristaux ont été trouvés au Maroc, au Mexique et en Chine (parmi tant d'autres). Les gisements classiques de malachite mamelonnée, stalactiforme et rubanée sont en Oural et au Katanga. En France, hormis la célèbre mine de Chessy (localité-type de la « chessylite », voir encadré), signalons aussi de nombreux gisements dans les Vosges, en Auvergne, Var, Loire, Tarn, Savoie, Alpes-Maritimes, Corse, des Pyrénées, etc.

À la découverte des minéraux et des pierres précieuses 86

## Jades

*Espèces : néphrite (amphibole), jadéite (pyroxénoïde)*

Tête de hache en jade clair (Nouvelle-Zélande)

Nodule scié et poli de jade montrant une altération brunâtre (Birmanie)

Jade mixte, brun et impérial (travail asiatique).

Plaque polie montrant du jade brun (à gauche) et impérial (à droite).

Classe 9C : silicates, inosilicates

Amphiboles (jade dit « de **néphrite** ») : $(Ca,Fe)_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ (trémolite-actinote) ; pyroxènes : $Na(Al,Cr,Fe)Si_2O_6$ (**jadéite** et **kosmochlor**)

3,25 à 3,35

6 à 7

**Couleur, transparence, éclat**

Blanc, grisé, vert pâle à vert émeraude, bleu-vert, rosés lilas, noir. Transparent à translucide. Éclat vitreux.

**Morphologies, système cristallin**

Massif, granulaire, fibreux. Monoclinique.

**Clivage, cassure**

Bon clivage selon {110}. Cassure irrégulière.

**Gisements**

On trouve les minéraux constituant le jade en Chine, en Russie, au Kazakhstan, en Birmanie, en Nouvelle-Zélande, en Californie, en Méso-Amérique (surtout au Guatemala), au Canada et en Italie (Mont Viso).

**Étymologie**

De l'espagnol *piedra de ijada*, pierre contre les maux de reins.

**Jade : un ensemble de minéraux**

Sous le nom de jade, on réunit des minéraux différents (des amphiboles et des pyroxénoïdes). Le jade néphrite est le plus commun. Le « jade impérial » est d'un vert intense de part la présence de kosmochlor, un pyroxène chromifère. La serpentine est quelquefois vendue (frauduleusement) comme jade. Le jade de néphrite peut être « amélioré » de manière plus ou moins sévère pour accentuer sa couleur. Le jade du Mont Viso (Italie) a été exploité dès le Néolithique et des haches polies dans cette matière ont été trouvées jusqu'en Angleterre. C'est la gemme la plus prisée en Asie.

À la découverte des minéraux et des pierres précieuses 138

Les principaux critères d'identification

- Classification chimique
- Formule chimique
- Densité
- Dureté

Des explications pour en savoir plus

# Carnet pratique

## Carnet pratique

### Guides et ouvrages

*Dictionnaire de géologie*, A. Foucault et J.-F. Raoult, Dunod, 7e éd. (2010).
*Sur les sentiers de la géologie*, A. Foucault, Dunod (2011).
*Larousse des minéraux*, H.-J. Schubnel, Larousse (1981).
*Minéraux remarquables*, J.-C. Bouilliard, Le Pommier et BRGM (2010).
*Le cristal et ses doubles*, J.-C. Bouilliard, CNRS Éditions (2010).
*Guide Delachaux des minéraux*, O. Johnsen, Delachaux et Niestlé.
*Ce que disent les minéraux*, P. Cordier et H. Leroux, Belin Pour la science (2008).
*Inventaires minéralogiques*, (une douzaine de déparements), BRGM.
*Larousse des pierres précieuses*, P. Bariand et J.-P. Poirot, Larousse (2004).
*Guide des pierres précieuses, pierres fines et ornementales*, W. Schumann, Delachaux et Niestlé, 14e éd. (2009).

Carnet pratique 196

### Sites Internet

- www.geopolis.fr : portail de la Confédération française des acteurs en sciences de la Terre.
- www.mineral-hub.net : liste des musées, vente, achat…
- www.brgm.fr : site du Bureau de recherches géologiques et minières.
- www.museum-mineral.fr : galerie de minéralogie.
- www.musee.ensmp.fr : collection de Mines ParisTech (ancienne École nationale supérieure des Mines de Paris).
- www.amis-mineraux.fr : collection des Amis de la collection « de la Sorbonne » à l'université Pierre-et-MarieCurie.
- www.mineralogie.org : portail internet de minéralogie.
- www.gemmes-infos.com : pour la gemmologie.

Des adresses d'associations, de clubs, de musées, de sites Internet… pour vivre sa passion

# Qu'est-ce qu'un minéral ?

La minéralogie, ou science des minéraux, a récemment pris un essor important qui reste souvent méconnu. On peut dire que la minéralogie est devenue une science multidisciplinaire qui s'est invitée dans de nombreux débats scientifiques : depuis l'origine des planètes et de la vie à la stratégie économique et politique, en passant par les matériaux « high-tech », la protection des environnements et de la biodiversité, la préservation du patrimoine culturel et la santé humaine. Les enjeux sociétaux de la minéralogie ont transformé cette science pourtant ancienne.

## Roches, minéraux, cristaux et gemmes

Qu'est-ce qu'un minéral ? Pour beaucoup, « minéral » est le terme scientifique pour « pierre », un solide massif, relativement lourd et dur, sans vie, formant quelquefois des cristaux transparents et brillants qu'on appelle « pierres précieuses ». La réalité est bien plus riche et fascinante, comme nous allons le voir.

La définition du minéral a constamment varié depuis l'Antiquité : la minéralogie n'est pas une science morte. Plus on

étudie la diversité minéralogique avec des instruments toujours plus puissants et précis, plus on a de difficultés à redéfinir les contours de la « géodiversité » naturelle.




Six variétés d'une même espèce minérale, le béryl : (1) variété incolore (goshénite, Brésil) ; (2) variété aigue-marine (Brésil) ; (3) variété émeraude (Colombie) ; (4) variété morganite (Brésil) ; (5) variété héliodore (Madagascar) ; (6) béryl rouge (« bixbite », Utah)

## Structure, origine et composition

Certains experts considèrent que les minéraux sont des solides naturels cristallisés et inorganiques, formés par un processus géochimique, par exemple le quartz ou le feldspath qui sont composés d'agencements atomiques constants et stables qui se répètent presque à l'infini, formant des cristaux : leurs structures atomiques sont dites « périodiques ». A contrario, le mercure natif ne serait pas un minéral pour certains minéralogistes car il est liquide et, à ce titre, il est non cristallisé et donc « amorphe ». Pourtant le mercure natif est bel et bien un minéral, approuvé par l'*International Mineralogical Association*, l'instance internationale qui décide de ce qui est un minéral. On sait maintenant que le mercure liquide

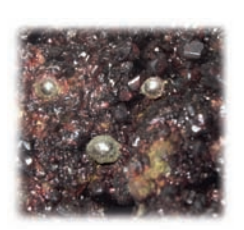
n'est pas aussi « amorphe » que l'on pensait. Dans ce liquide, les atomes de mercure sont fortement liés, de manière comparable à celle d'un cristal (d'ailleurs, les « cristaux liquides » existent bel et bien dans les écrans de nos calculatrices !). La différence vient du fait que cette organisation atomique n'est pas aussi périodique que dans le quartz ou la calcite, mais varie constamment. Un liquide n'est donc pas plus « désorganisé » qu'un cristal : les deux sont organisés différemment, à partir des mêmes structures atomiques et moléculaires.

Les minéraux d'origine purement minérale ne constituent qu'une minorité du monde minéral tel que nous le connaissons aujourd'hui. On sait maintenant que de nombreuses calcites ne sont pas d'origine purement minérale, mais biologique : elles ont été secrétées par des micro-organismes depuis l'apparition de la vie sur Terre il y a au moins 3,8 milliards d'années.

De même, la whewellite, un oxalate cristallisé naturel récolté au plus profond des mines, est chimiquement organique. C'est un minéral organique. Le sucre candi forme aussi de beaux cristaux, de composition organique car composé essentiellement de saccharose. Mais comme on ne le retrouve pas dans des roches, il n'est pas considéré comme un minéral.






Mercure natif dans cinabre (Moschell, Rhénanie)


Cristaux de whewellite (Saxe)


Cristaux de sucre candi industriel

## Une définition ?

Ainsi, les découvertes récentes de la minéralogie nous ont apporté leur lot de nouveautés, mais aussi de perplexité : est-ce que les cristaux sont les seules formes d'organisation atomique minérale possible ? Doit-on limiter la géodiversité à la seule croûte terrestre, excluant de fait les minéraux des profondeurs de la Terre ou extraterrestres ? On le devine, les réponses à ces questions sont négatives.



Diamant (sur gangue, Afrique du Sud)



Graphite (Maroc)

Même composition (carbone pur) mais deux minéraux différents, aux propriétés diamétralement opposées

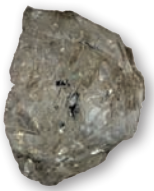
À la lumière des dernières découvertes en minéralogie, il existe aujourd'hui un certain consensus pour considérer que la définition d'un minéral doit être étendue à « toute substance géologique, chimiquement homogène, ayant une structure atomique (périodique ou non), formée grâce à des processus (bio) géochimiques ».

## Quelle différence avec les roches ?

Une roche est classiquement définie comme un agrégat d'un ou de plusieurs minéraux. Ainsi, un granite est essentiellement composé de cristaux visibles à l'œil nu de quartz, de feldspath et de mica. Un quartzite est composé presque uniquement de grains millimétriques de quartz. Un calcaire est une roche composée d'une multitude de cristaux de calcite de très petite taille (micrométrique à millimétrique). À l'opposé, une pegmatite est une roche composée de minéraux de très grandes dimensions (centimétriques à métriques) de quartz, feldspath et, souvent, de mica.



Cristaux (« cristal de roche », Brésil)



Quartz hyalin (Brésil)



Quartz microcristallin (Madagascar)

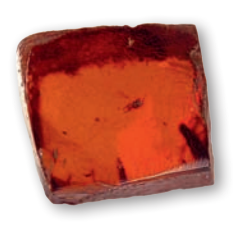


Roche (quartzite, États-Unis)

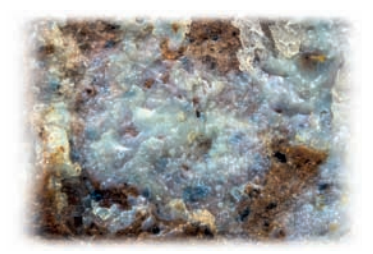
Un même minéral pour quatre apparences différentes

## Les « minéraloïdes »

Certains minéralogistes font une distinction entre minéraux et « minéraloïdes ». Les « minéraloïdes » ressemblent à des minéraux, mais n'en sont pas. Par exemple, l'ambre n'est pas un minéral à proprement parler car il s'agit d'une résine fossilisée, composée d'un grand nombre de substances organiques différentes intimement mélangées. On pourrait donc décrire l'ambre comme une roche organique. Mais l'ambre est considéré comme une « pierre fine » par les gemmologues, au même titre que la tourmaline ou la topaze, de « vrais minéraux ». Un autre « minéraloïde » bien connu est l'opale, composée de différentes phases minérales. L'opale est en fait une roche, composée de différentes formes de silice. Pour les gemmologues, elle reste une pierre fine. Néanmoins, on continue à la classer comme « minéral » car, historiquement, elle a toujours été considérée ainsi.



Ambre (Baltique)



Opale (Mexique)

Exemples de « minéraloïdes »

# Minéral, matière organique et vie

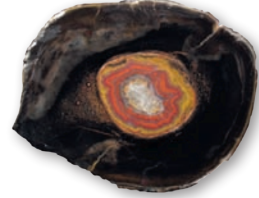
Il est maintenant établi que la diversité minéralogique actuelle est essentiellement due à la présence d'importantes quantités d'eau à la surface de la Terre. L'eau a altéré les minéraux primitifs et a libéré quantité d'ions qui se sont recombinés sous la forme de nouveaux minéraux insolubles (argiles, ferrihydrite)

et de sels solubles (de sodium, calcium, magnésium, etc.). L'eau s'est alors minéralisée. La géodiversité actuelle est aussi due au développement de la vie. La présence d'algues bleues océaniques dès 3,5 milliards d'années a considérablement enrichi l'atmosphère terrestre en oxygène. Ceci a permis d'oxyder les minéraux de la Terre primitive. Des centaines de nouveaux minéraux (oxyhydroxydes, sulfates, arséniates, etc.) se sont ainsi formés. Les stromatolites, éponges, algues, coraux et autres coquillages ont secrété de nombreux carbonates à partir d'eau minéralisée. Des micro-organismes ont aussi contribué à former argiles et oxyhydroxydes, des minéraux par ailleurs très rares dans l'Univers.





Deux exemples de minéralisation actuelle :
un coquillage et un corail, formés essentiellement d'aragonite

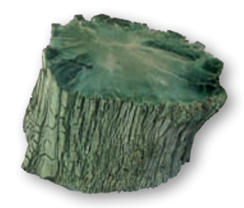




Tranche dans un fémur de dinosaure agatisé (États-Unis)



Éponge calcitisée



Tronc de conifère en glauconite

Trois exemples de minéralisation passée

Plus des trois-quarts des espèces minérales décrites sur Terre sont inconnues sur la Lune ou dans les astéroïdes. Mais ces derniers recèlent quantité d'autres minéraux primitifs qui ont quasiment disparu de la surface de la Terre, tels de rares carbures comme la moissanite (SiC). Cette minéralogie plus restreinte confère peu de couleurs à la surface de la Lune. Intermédiaire entre la Lune et la Terre, la surface de Mars recèle plus de géodiversité car sa surface semble localement riche en hydroxydes, argiles et sulfates qui n'ont jamais été rencontrés sur la Lune. D'où un éventail plus riche en couleurs, sans toutefois surpasser la Terre.




Surfaces respectives de la Lune (avec une échelle de couleurs de référence) et de Mars vues par les missions Apollo 17 en 1972 et *Mars Science Laboratory* en 2012.

# La diversité minéralogique

À ce jour, et en fonction des définitions actuelles, on dénombre un peu plus de 4 750 espèces minérales différentes. On découvre quelques dizaines d'espèces nouvelles par an. Le plus souvent, il s'agit d'espèces microscopiques confinées à un gisement très particulier, ayant connu des épisodes géologiques uniques expliquant alors leur rareté. Mais le plus important potentiel de découvertes d'espèces minérales nouvelles réside dans l'étude de météorites témoins de minéralogies ayant disparu de la surface de la Terre.



Des mondes minéralogiques encore peu explorés existent près de chez soi comme dans un sol de forêt…

Un autre monde minéralogique dont l'exploration débute tout juste est constitué par les minéraux de dimension nanométrique (un nanomètre équivaut à un millionième de millimètre) et/ou qui sont peu ou non cristallisés. Ces espèces sont impossibles à

détecter avec les instruments de la minéralogie traditionnelle : leur identification requiert des instruments sophistiqués – tels les accélérateurs à rayonnement synchrotron - qui n'ont été développés que très récemment (années 1990). Ces minéraux restent encore peu connus, même s'ils peuvent être abondants dans nos sols comme les « rouilles vertes » telle la fougérite $(Fe(II),Mg)_6 Fe(III)_2(OH)_{18}\cdot 4H_2O$). Elle fut identifiée en 1996 en Bretagne et s'est révélée être un minéral extrêmement commun.

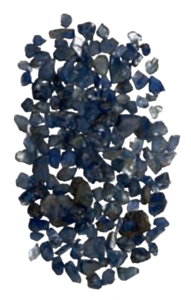
## La nomenclature des minéraux

Les noms des minéraux courants sont souvent les héritiers d'un passé lointain :

- Or : du latin *aurum*.
- Saphir : proviendrait de l'hébreu *sappîr*, saphir.
- Feldspath : de dialectes germaniques signifiant une matière non métallique – *spath* – provenant d'un champ – *feld*.

Certains noms sont tirés de propriétés remarquables :

- Magnétite : magnétique.
- Azurite : bleue.
- Barytine : dense.



Saphir (Vietnam)



Goethite (Le Kaymar, Aveyron)



Barytine (Côte d'Abot, Puy de Dôme)

Ou dérivant du nom d'une personnalité remarquable :

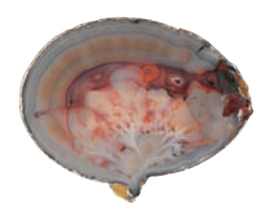
- Goethite : Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832), écrivain allemand.
- Curite, sklodowskite et cuprosklodowskite : Marie Curie-Sklodowska (1867-1934), chimiste franco-polonaise.

D'autres noms dérivent d'une localité (ou d'un pays) où l'espèce fut trouvée sous la forme d'échantillons remarquables :

- Agate : Achátes, rivière de Sicile.
- Autunite : Autun, Saône-et-Loire.

Certains noms sont issus d'une spécificité culturelle :

- Turquoise : car souvent importée de Perse par des Turcs.
- Kaolin : de *Kao-ling* (ou *Gao-ling*, littéralement « grande colline »), un village de la province du Jiangxi en Chine, célèbre pour sa production historique de porcelaine.



Agate
(Rio Grande, Brésil)


Turquoise dans rhyolite (Mont Dore, Puy de Dôme)


Métatorbernite (Entraygues-sur-Truyère, Aveyron)

Ou d'une modification d'un minéral déjà décrit :

- Métatorbernite : torbernite deshydratée.
- Axinite-Fe : ferroaxinite ou axinite enrichie en fer.

# La classification chimique des minéraux

Actuellement, les quelque 4 750 espèces connues sont réparties suivant le système dit « de *Nickel-Strunz* », qui en est à sa dixième version depuis 1982. Dans ce système, on dénombre 10 classes de minéraux, numérotées de 1 à 10 :

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| Éléments (et carbures, nitrures, siliciures, alliages etc.) | Sulfures et sulfosels (et séléniures, antimoniures, arséniures) | Halogénures (et oxyhalogénures) | Oxydes et hydroxydes |
| Or (Californie) | Pyrite (Espagne) | Halite (Pologne) | Quartz (Mont-Blanc) |

| 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|
| Carbonates et nitrates<br>Calcite (Mexique) | Borates<br>Borax (Italie) | Sulfates, chromates, molybdates et tungstates (et sélénates, niobates et thiosulfates)<br>Apatite (Mexique) | Phosphates, arséniates et vanadates<br>Gypse (localité inconnue) |

| 9 | 10 |
|---|---|
| Silicates (et les germanates)<br>(Tableau ci-dessous) | Minéraux organiques<br>Mellite (Tchéquie) |

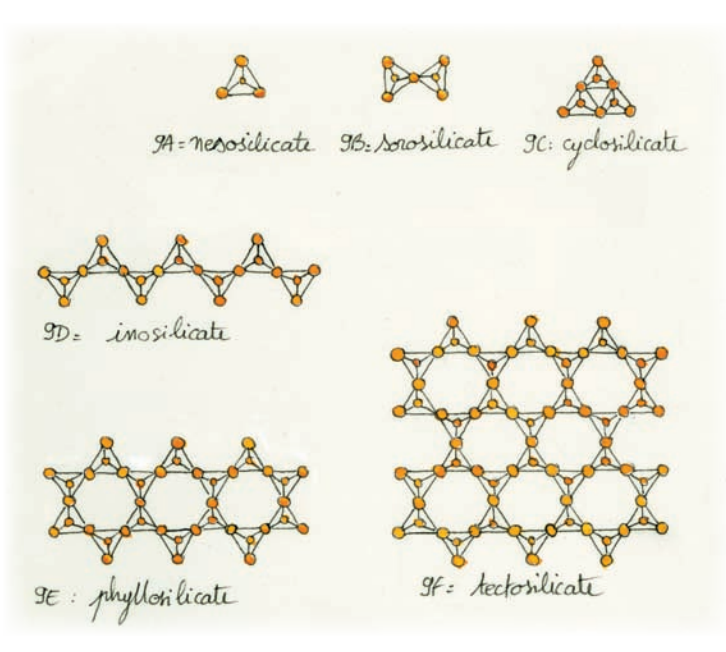
La classe 1 représente les compositions les plus « simples » en termes d'atomes élémentaires plus ou moins combinés entre eux. Les classes 2 à 10 sont composées d'atomes ionisés, dont les sulfures (et associés, classe 2), halogénures (classe 3), ceux composés d'oxygène (classes 4 à 9) et de carbone organique (classe 10). Parmi les « oxydes » (au sens général du terme), on trouvera les oxydes et hydroxydes (sensu stricto, classe 4), les carbonates-nitrates (classe 5), les borates (classe 6) structuralement similaires aux phosphates (classe 7) et aux silicates (classe 9) et enfin les sulfates et associés qui sont des minéraux très oxydés.

| Classe 9 : les silicates | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Nésosilicate | Sorosilicate | Cyclosilicate | Inosilicate | Phyllosilicate | Tectosilicate |
| Grenat (Brésil) | Épidote (Oisans) | Tourmaline (Brésil) | Enstatite (Pakistan) | Phlogopite (Madagascar) | Sanidine (Mont Dore, Puy-de-Dôme) |

## Le cas des silicates

Les silicates sont, de loin, la classe de minéraux qui regroupe le plus grand nombre d'espèces minérales (environ 1 350 sur 4 750). On subdivise cette classe en 6 sous-classes, suivant la manière dont les groupements silicate ($SiO_4^{4-}$) s'arrangent entre eux :

- sous-classe 9A : nésosilicates (environ 190 espèces) avec des groupements silicates dits « isolés » $SiO_4^{4-}$, c'est-à-dire déconnectés les uns des autres,
- sous-classe 9B : sorosilicates (~ 190 espèces) composés de paires de groupements silicates doubles $Si_2O_7^{6-}$, aussi « isolés »,
- sous-classe 9C : cyclosilicates (~ 170 espèces), composés d'anneaux formés par 3, 4, 6, 8 ou 12 groupements silicates,
- sous-classe 9D : inosilicates (~ 320 espèces), avec des groupements silicates formant des chaînes,
- sous-classe 9E : phyllosilicates (~ 250 espèces) avec des groupements silicates formant des plans,
- sous-classe 9F : tectosilicates (~ 200 espèces) avec des groupements silicates formant des édifices tridimensionnels,
- sous-classe 9G : silicates non encore classés ou inclassables (~ 25 espèces).
- sous-classe 9H : germanates (~ 5 espèces mais beaucoup d'autres restent à découvrir).




Structures atomiques des groupements silicates